

质子辐照导致科学级电荷耦合器件电离效应和位移效应分析

文林 李豫东 郭旗 任迪远 汪波 玛丽娅

Analysis of ionizing and department damage mechanism in proton-irradiation-induced scientific charge-coupled device

Wen Lin Li Yu-Dong Guo Qi Ren Di-Yuan Wang Bo Maria

引用信息 Citation: [Acta Physica Sinica](#), 64, 024220 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.024220

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.024220>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I2>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

溢油海水双向反射分布函数的建模及仿真

Modeling the bidirectional reflectance distribution function of seawater with spilt oil

物理学报.2014, 63(13): 134211 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.134211>

位移效应对量子点激光器的性能影响

Displacement damage effects on the characteristics of quantum dot lasers

物理学报.2013, 62(9): 094219 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.094219>

位移辐射效应对量子阱激光器性能的影响

Displacement damage effect on the characteristics of quantum well laser

物理学报.2012, 61(21): 214211 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.214211>

光纤布拉格光栅 γ 辐射损伤及其对光谱特性的影响

γ -radiation damage of fiber Bragg grating and its effects on reflected spectrum characteristics

物理学报.2012, 61(6): 064201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.064201>

质子辐照导致科学级电荷耦合器件电离效应和位移效应分析*

文林¹⁾²⁾ 李豫东¹⁾ 郭旗¹⁾ 任迪远^{1)†} 汪波¹⁾²⁾ 玛丽娅¹⁾²⁾

1)(中国科学院新疆理化技术研究所, 中国科学院特殊环境功能材料与器件重点实验室, 新疆电子信息材料与器件重点实验室,
乌鲁木齐 830011)

2)(中国科学院大学, 北京 100049)

(2014年6月26日收到; 2014年7月25日收到修改稿)

针对卫星轨道上的空间环境辐射引起电子元器件参数退化问题, 为了研究光电器件空间辐射效应、损伤机理以及参数退化规律, 对某国产埋沟科学级电荷耦合器件(charge-coupled devices, CCD)进行了10 MeV质子辐照试验、退火试验及辐射效应理论模型研究。试验过程中重点考察了器件的暗信号和电荷转移效率特性的变化。试验结果表明, 器件的主要性能参数随着质子辐照注量的增大明显退化, 在退火过程中这些参数均有不同程度的恢复。通过对CCD敏感参数退化规律及其与器件工艺、结构的相关性进行分析, 并根据半导体器件辐射效应理论, 推导了器件敏感参数随质子辐照注量变化的理论模型, 得到了暗信号及电荷转移效率随辐照注量退化的半经验公式。上述工作可为深入开展CCD抗辐射性能预测、抗辐射工艺改进与结构优化提供重要参考。

关键词: 电荷耦合器件, 质子辐照, 电离效应, 位移损伤

PACS: 42.88.+h, 85.60.Dw, 61.85.+p, 07.50.Qx

DOI: 10.7498/aps.64.024220

1 引言

科学级电荷耦合器件(CCD)由于高灵敏度及动态范围, 在空间光学成像领域得到了广泛的应用^[1-3]。但正因为高度灵敏性, 科学级CCD单个像素比商业级CCD尺寸更大, 一般在10 μm × 10 μm以上。较大的单个像素尺寸使得科学级CCD对空间辐射导致的性能变化也非常敏感, 空间带电粒子辐射引起的电离总剂量效应和位移效应均会使CCD产生永久性的损伤, 使其暗信号增大、电荷转移效率下降, 影响光学成像系统的性能。

空间辐射环境中的主要辐射粒子为质子、电子和少量重离子, 粒子入射导致电子元器件参数退化^[4,5], 影响空间天文任务的顺利开展。对于空间应用的CCD, 质子入射导致的参数退化损伤机

理较为复杂。质子入射在CCD内同时产生明显的电离效应和位移效应, 两种辐射效应的综合作用导致对CCD参数退化的物理过程分析难度增大。Meidinger等^[2]及Bebek等^[3]的研究均表明, CCD对质子辐照导致的位移损伤最敏感的参数是电荷转移效率, 且电荷转移效率性能退化程度与辐照剂量及温度相关。对辐射效应损伤机理的研究则表明, 在质子与CCD器件中晶格原子Si碰撞后产生的大部分空位-填隙原子对很快复合, 少数穿过平衡时所处的晶格位置形成稳定缺陷, 作为暗信号产生中心和少子陷阱存在, 引起CCD暗信号和电荷转移效率性能退化^[6]。目前国内对CCD辐射效应的研究由于受制于器件设计与测试条件, 更多的研究是通过理论计算及商业级CCD功耗参数的测试进行功能失效分析^[7-9]。我们对某国产科学级埋沟

* 国家自然科学基金(批准号: 11005152)资助的课题。

† 通信作者。E-mail: rendy@ms.xjb.ac.cn

CCD 进行了 10 MeV 质子辐照实验, 通过辐照及退火实验中暗信号、电荷转移效率的变化, 结合半导体物理理论, 分析了质子辐照导致 CCD 电离和位移损伤的性能退化机理, 并推导了参数退化规律的半经验公式。研究结果为 CCD 质子辐射效应研究以及器件在空间辐射环境中的参数退化趋势预测提供了理论基础和试验数据参考。

2 实验样品与实验

实验样品为国产埋沟工艺帧转移 CCD, 该款器件采用三相工作模式, 图像采集区域为 64×64 像元, 像元尺寸为 $48 \mu\text{m} \times 48 \mu\text{m}$ 。辐照实验在北京大学重离子物理实验室的质子加速器上完成, 采用的质子束能量为 10 MeV, 通量为 $5 \times 10^7 \text{ proton}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 辐照到最大注量 $1.5 \times 10^{11} \text{ proton}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。辐照实验如图 1 所示。为了防止样品封装材料及空气的阻挡作用造成质子能量衰减, 在 CCD 封装时采用了活动光窗结构, 辐照时将光窗取下, 样品放在真空室内, 通过穿出真空室的连接线施加电压偏置。10 MeV 质子在 Si 中的射程约 700 μm , 能穿透样品辐照敏感区域(样品表面到有源区底部总厚度约 15 μm)。为了消除电场的影响(外加电场导致的场增强效应^[6]将使 CCD 暗信号急剧增加, 尤其对于低能质子辐照, 在产生明显的位移损伤之前, 样品功能将由于暗信号增加而严重退化), 本次实验采用的偏置方式是 CCD 所有管脚均加 0 V 偏置。在辐照完成后对 CCD 依次进行常温和 100 °C 退火实验, 所用偏置条件与辐照时相同。

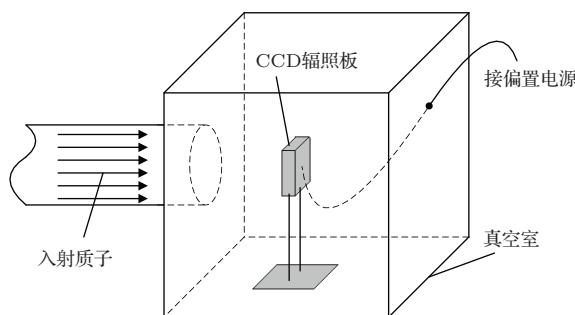


图 1 CCD 质子辐照实验示意

在辐照和退火过程中的不同时间对 CCD 参数进行移位测试, 测试时采用暗场及积分球均匀光照条件分别测试暗信号(在无光照条件下, CCD 像元产生的输出电压信号)与电荷转移效率(CCD 信号

电荷包从一个电极转移到下一个电极, 转移后电极下电荷量与转移前电极下电荷量的比值)。其中暗信号的测试是在无光照条件下, 通过改变 CCD 的积分时间, 测试对应积分时间下的输出电压信号, 然后以积分时间为横坐标, 输出电压信号为纵坐标, 由测试数据给出散点图, 并按最小二乘法, 拟合出一条直线, 该直线的斜率即为 CCD 的暗信号; 电荷转移效率的测试是在均匀光照条件下, 使用驱动电路使 CCD 正常工作, 因为信号电荷包的转移过程存在电荷损失, 所以经过 N 个像元转移后, 电荷量会减小, 损失的电荷则成为拖尾像元中的延迟电荷, 采用延迟电荷量导出 CCD 的电荷转移效率。所有测试均在中断实验并移位后的 30 min 内完成, 测试完成后实验继续进行。

3 实验结果与讨论

CCD 暗信号随质子辐照注量增加的变化情况如图 2, 暗信号在常温及高温退火过程中的变化情况如图 3。从图 2 可以看出, 暗信号作为 CCD 对辐照最为敏感的参数, 随辐照注量增加迅速增大 3 个量级。CCD 暗信号对质子入射导致的电离效应及位移效应均非常敏感, 电离效应产生的界面态导致电子更容易从价带跃迁到导带, 引起 CCD 表面暗信号增大; 位移效应产生能级位于硅禁带中心附近的缺陷, 该缺陷作为产生中心产生大量的电子-空穴对, 引起 CCD 体暗信号增大。从图 3 可以看出, 暗信号在常温退火初期迅速恢复, 这表明一些质子辐照在 Si-SiO₂ 界面及 CCD 像元结构的埋沟区域产生的不稳定的缺陷迅速复合, 随常温退火时间延长暗信号几乎保持不变也证明了这一点。100 °C 高

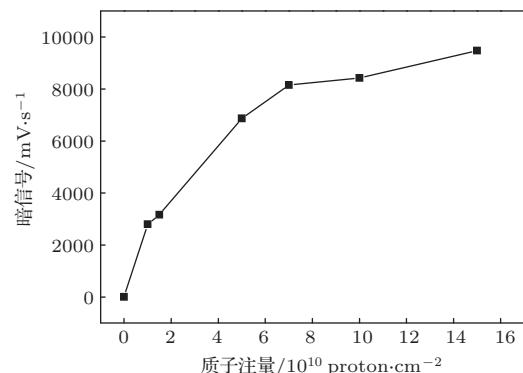


图 2 CCD 暗信号退化与入射质子(10 MeV)注量的关系

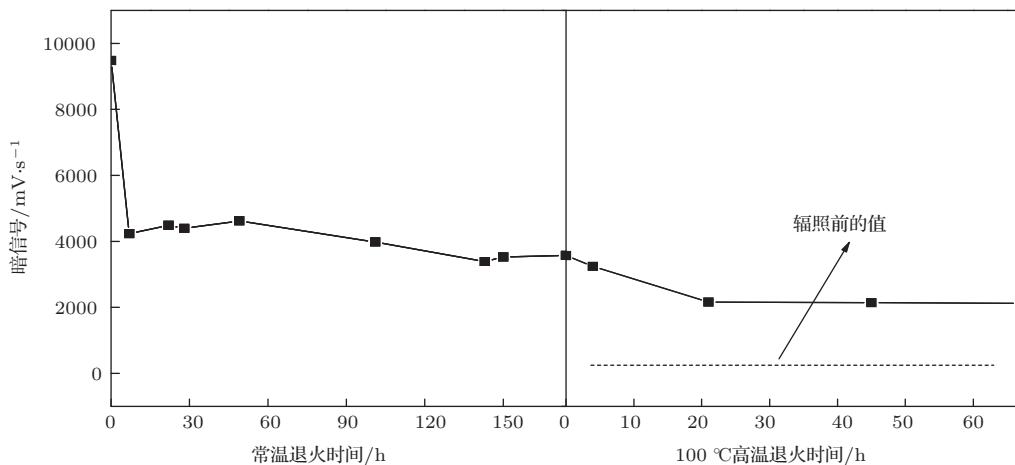


图3 CCD暗信号退化与退火温度及时间的关系

温退火过程中暗信号少量恢复,这是由于温度升高导致常温下稳定的缺陷进一步复合,主要是随着热激发电子能量增加,导致Si-SiO₂界面处部分带正电的界面态与电子复合消失。

质子辐照导致CCD电荷转移效率的变化趋势如图4所示。随着辐照注量增大,电荷转移效率退化非常明显,随质子注量的退化近似线性关系。辐照后CCD电荷转移效率退化的原因主要是:1)电离效应产生的Si-SiO₂界面态导致少数载流子浓度降低,以及2)位移效应产生的浅能级缺陷导致少数载流子浓度减低及少数载流子迁移率降低。对于本次实验采用的埋沟工艺科学级CCD,由于信号电荷包储存在埋沟中,不与Si-SiO₂界面直接接触,因此电荷转移效率退化的主要缘由是位移损伤。图5是辐照后常温及高温退火实验过程中测试的CCD电荷转移效率变化情况。从图中可以看出,

常温及100 °C高温退火实验过程中电荷转移效率没有明显变化,表明对常温及100 °C高温敏感的“氧化物陷阱电荷-界面态竞争过程”对电荷转移效率没有影响。

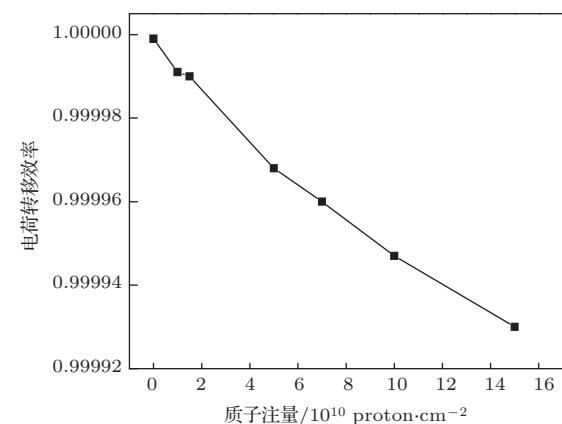


图4 CCD电荷转移效率退化与入射质子(10 MeV)注量的关系

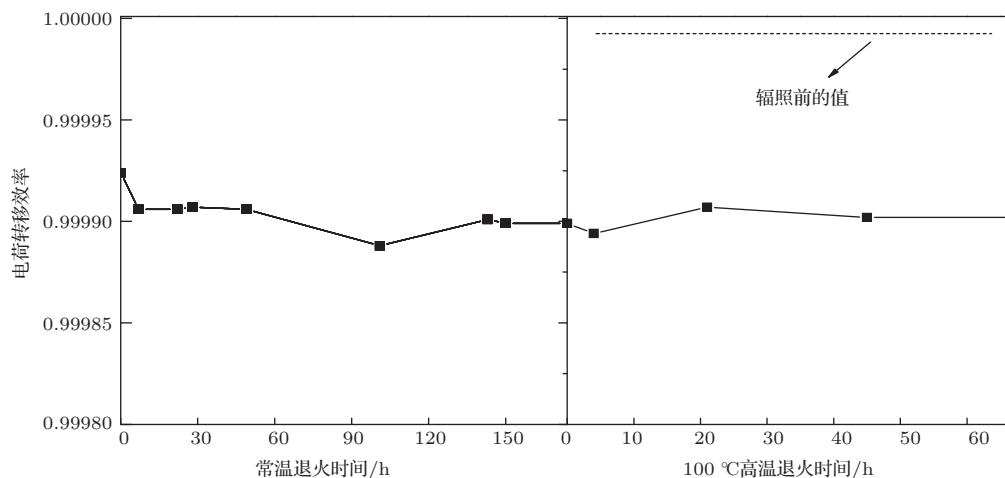


图5 CCD电荷转移效率退化与退火温度及时间的关系

4 辐射导致的参数退化分析

质子辐照导致CCD参数退化是电离效应与位移效应共同作用的结果。电离效应导致的损伤是由于质子径迹附近的原子被电离，产生大量电子-空穴对，沟道及衬底区域由于掺杂而存在大量载流子，所以电子-空穴对迅速复合，对CCD参数不产生影响；而栅介质 SiO_2 内产生的电子-空穴对则会大量残留，由于电子的迁移率远大于空穴的迁移率，因此电子在感生电场或外加电场的作用下迅速逃逸，剩余大量带正电的空穴，称为氧化物陷阱电荷；氧化物陷阱电荷缓慢移动到 $\text{Si}-\text{SiO}_2$ 界面处形成界面态，如图6所示。高温退火会加速这一转化过程，即图3中常温退火与100 °C高温退火过程中暗信号表现出的变化情况的原因。位移效应导致的损伤是由于质子与CCD内晶格原子碰撞，产生空位-间隙原子对缺陷，包括E中心(P-V中心，也称为磷空位复合体)、双空位(V-V中心)和A中心

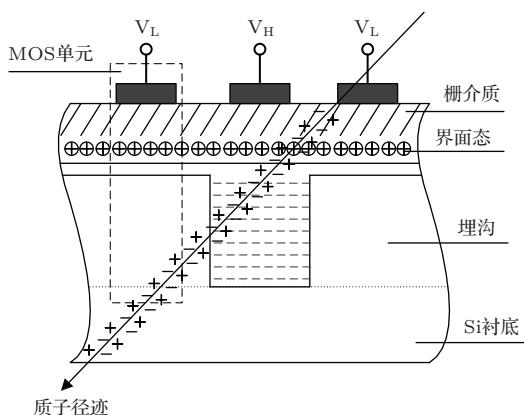


图6 质子辐射导致的电离效应示意图

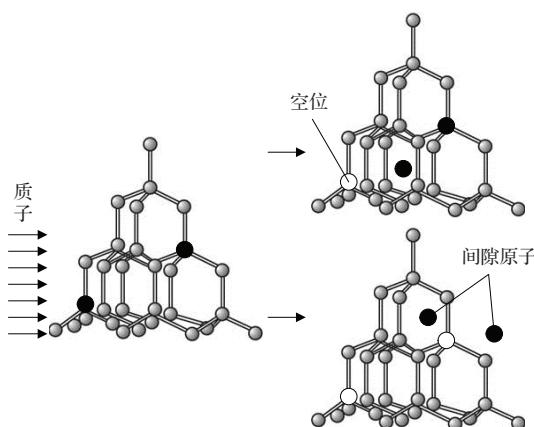


图7 质子辐射导致的位移效应示意图

(O-V中心，也称为氧空位中心)，其中E中心占主要地位，如图7所示。

4.1 质子辐照导致暗信号退化的理论模型

由于质子辐照在半导体内损失的能量大部分导致电离效应，仅有约0.1%导致位移效应^[10]，因此质子入射造成CCD暗信号增加的主要成分是表面暗信号。辐射感生界面态电荷密度由下式描述^[7]：

$$\Delta N_{it} = 1.077 \times 10^7 \cdot T_{ox} \cdot D^{2/3}, \quad (1)$$

其中， ΔN_{it} 为单位面积的界面态密度， T_{ox} 为氧化层厚度， D 为辐射剂量。界面态导致的表面暗电流密度 J_{DS} 由下式给出^[11]：

$$J_{DS} = \frac{qn_i}{2} (\pi k T \sigma_n v_{th}) N_{ss}, \quad (2)$$

其中， q 是电子电量， n_i 是载流子浓度， k 是玻尔兹曼常数， T 是绝对温度， σ_n 是电子俘获截面， v_{th} 是电子平均热速度， $N_{ss}(= N_{it}/T_{ox})$ 是界面态密度。结合(1), (2)式有

$$J_{DS} = B \sigma_n D^{2/3},$$

$$B = 1.077 \times 10^7 \cdot \frac{qn_i}{2} (\pi k T v_{th}), \quad (3)$$

其中 B 为与入射粒子无关的常数。根据文献[7, 12, 13]，电离总剂量辐照导致金属氧化物半导体(MOS)结构器件的界面态增加与辐照累积总剂量呈线性关系，因此引起表面暗信号增加的陷阱数量与辐照剂量呈线性关系，即电子俘获截面为辐照剂量的一次函数($\sigma_n = \alpha \cdot D$, α 为比例因子)。上述表面暗电流密度与辐照剂量的关系(3)式可进一步简化为

$$J_{DS} = \beta \cdot D^{5/3},$$

$$\beta = 1.077 \times 10^7 \cdot \alpha \cdot \frac{qn_i}{2} (\pi k T v_{th}), \quad (4)$$

这表明质子辐照导致CCD表面暗信号与辐照剂量呈近似线性关系，这一结果与王祖军等^[7]通过计算机仿真得到的结果一致。考虑到质子辐射导致的CCD暗信号退化仍有少量的体暗信号部分，且氧化物陷阱电荷与界面态的竞争过程，(4)式与实验结果的符合将更趋完美。在 ${}^{60}\text{Co}-\gamma$ ，电子等辐照环境中，电离总剂量效应占主导地位，该分析是一个理想的CCD辐射效应机理分析模型。在质子辐照环境中，若能得出暗信号主要受电离效应影响这一初步结论，则上述分析结果也是很好的理论模型。

4.2 质子辐照导致电荷转移效率退化的理论模型

CCD 暗信号主要受质子辐照导致的电离效应影响, 而电荷转移效率则是对质子辐照导致的位移效应最敏感的参数^[2,3]. 质子入射在半导体内产生的位移缺陷初级粒子能量传递公式为^[14]

$$T_{\max} = \frac{4Mm}{(m+M)^2}E, \quad (5)$$

其中 T_{\max} 为质子传递给初级粒子的最大能量, M 为初级粒子质量, m 为质子质量, E 为入射质子动能. 因此 10 MeV 入射在 CCD 内产生 E 中心的初级粒子最大能量为 1.25 MeV. 而初级粒子产生率与其能量成平方反比关系, 即能量为 T 的初级粒子的产生率为 $1/T^2$. 由此得出 10 MeV 质子入射在 CCD 内产生位移缺陷初级粒子的能量分布如图 8 所示. 从图中可见, 位移缺陷初级粒子绝大部分能量小于 200 eV, 由于只有能量达到 1—2 keV 的初级粒子才可能促使其他原子移动, 产生级联缺陷甚至团簇缺陷^[15], 因此认为 10 MeV 质子入射在 CCD 内产生的位移缺陷主要为孤立的体缺陷, 即 E 中心, 产生的双空位缺陷非常少. 已有研究表明, 对粒子入射导致的孤立体缺陷、级联位移缺陷及团簇位移缺陷来说, 位移损伤产生的缺陷性质与位移损伤类型无关^[15], 因此可以认为质子入射产生的位移损伤是同质的, 用质子的非电离能量损失 (non-ionizing energy loss, NIEL) 或 CCD 的位移损伤表示. 体缺陷作为少数载流子俘获中心, 降低了少数载流子迁移率, 导致 CCD 电荷转移效率下降.

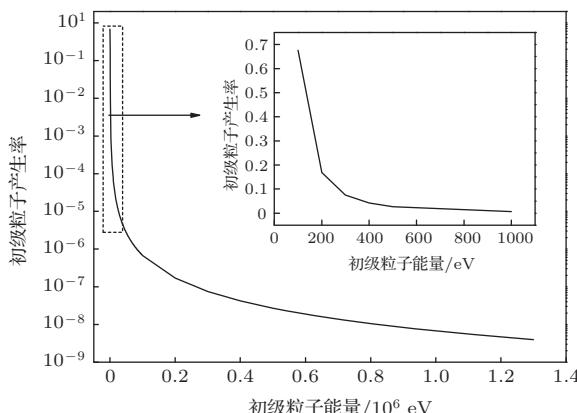


图 8 10 MeV 质子入射在 CCD 内产生位移缺陷初级粒子的能量分布

根据文献^[16], 对单一能级的体缺陷, 粒子辐射导致 CCD 中产生体缺陷密度 N_t 与电荷转移损

失率 ε 之间的关系为

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{SIG}}}{N_s} N_t e^{-T_i/\tau_i} \left(1 - e^{-T_E/\tau_i}\right), \quad (6)$$

其中, V_{SIG} 为信号电荷包占据的体积, N_s 为信号电荷数, T_i 为电荷包在相邻电极间传输所需的时间, τ_i 为体缺陷的发射时间, T_E 为电荷包在某一电极下耗尽区内的驻留时间. 设定 n_s 为信号电荷密度, A 为时间常数项, 则有

$$n_s = \frac{N_s}{V_{\text{SIG}}}, A = e^{-T_i/\tau_i} \left(1 - e^{-T_E/\tau_i}\right). \quad (7)$$

将(7)式中的两个关系式代入(6)式中, 得到简化的电荷转移损失率表达式:

$$\varepsilon = A \cdot \frac{N_t}{n_s}, \quad (8)$$

设定 n_t 为体缺陷有效密度, 则(8)式可以进一步简化为

$$\varepsilon = A \cdot n_t. \quad (9)$$

因此, 电荷转移损失率随体缺陷增加线性变大. 由于质子入射导致 CCD 中的位移损伤主要与辐射在 Si 衬底内的 NIEL 相关, 因此,

$$D_d = k_d \cdot DD, \quad (10)$$

其中, D_d 为质子入射导致 CCD 的位移损伤, k_d 为损伤系数, DD 为位移损伤剂量, 即质子入射产生 NIEL 的剂量. 结合(9)和(10)式有

$$\varepsilon \propto \text{Fluence}, \quad (11)$$

这里 Fluence 为质子入射的注量. 即电荷转移损失率与质子入射注量成比例关系. 因此电荷转移效率 ($= 1 - \varepsilon$) 也与质子入射注量成比例关系. 这一结果与图 4 的实验结果基本保持一致.

由于采用了埋沟工艺, CCD 电荷转移沟道内少数载流子不受电离损伤产生的氧化物电荷和 Si-SiO₂ 界面电荷影响, 因此, 电荷转移效率退化主要是位移损伤导致的结果. 上述简化的电荷转移效率退化理论模型表明, 位移损伤占据绝对主导地位. 需要注意的是, 尽管电荷转移沟道内少数载流子不受电离损伤的影响, 但氧化物电荷和界面电荷形成的电场在电荷转移沟道内(即耗尽区)存在少量的电场分量, 导致耗尽区深度变化, 因此电离损伤仍导致电荷转移效率的微弱变化. 这一点可以用来解释为何简化的电荷转移效率退化理论模型看似非常自治, 但实验结果中电荷转移效率退化曲线并不是直线.

5 结 论

实验结果及理论计算表明, 10 MeV质子入射导致科学级埋沟工艺CCD暗信号与电荷转移效率显著退化, 暗信号退化的主要原因是电离效应感生的界面态增加导致CCD表面暗信号增大, 电荷转移效率退化的主要原因是位移效应产生的孤立体缺陷作为散射中心导致少数载流子迁移率下降。这与化合物半导体的位移损伤表现明显不同, 化合物半导体的位移损伤表现为结构变化引起的器件性能退化^[17,18]。随着质子辐照注量的增大, CCD暗信号增大3个量级, 且变化趋势随辐照注量增加成近似线性关系, 我们通过理论计算给出了这一近似关系的计算公式。由于工艺的改进, 埋沟工艺CCD很好地消除了界面态对电荷转移效率的影响, 电荷转移效率退化主要与体缺陷密度有关, 其下降趋势与辐照注量成线性关系。本文推导了10 MeV质子入射导致CCD暗信号与电荷转移效率退化的理论模型, 由于在进行实验的辐射环境下, 体暗信号与表面暗信号相比非常少, 因此理论模型的推导暂时忽略了体暗信号, 所以本文这一理论模型成为理想条件下的理论模型。在推导电荷转移效率退化的理论模型时也进行了类似的假设。因此, 对质子辐射导致CCD性能退化的机理分析将要进行的工作是: 结合器件辐射效应仿真技术, 对辐射导致的电离损伤与位移损伤进行量化区分, 进一步完善参数退化的理论模型。

本文所描述的CCD器件测试工作在中国科学院新疆理化技术研究所“光电成像器件抗辐射性能检测设备”上完成, CCD器件辐照试验在北京大学重离子物理实验室的质子加速器上完成, 感谢上述大型设备工作人员对研究工作的支持。

参考文献

- [1] Chugg A M, Jones R, Moutrie M J, Truscott P R 2004 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **51** 3579

- [2] Meidinger N, Struder L, Holl P, Soltau H, Zanthier C V 1996 *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **377** 298
- [3] Bebek C J, Groom D E, Holland S E, Karcher A, Kolbe W F, Palaio N P, Turko B T, Wang G 2004 *Astroparticle, Partical and Space Physics, Detectors and Medical Physics Applications* 608B
- [4] Jin J, Wang X Q, Lin S, Song N F 2012 *Chin. Phys. B* **21** 094220
- [5] Liu C M, Li X J, Geng H B, Rui E M, Guo L X, Yang J Q 2012 *Chin. Phys. B* **21** 104211
- [6] Hopkinson G R, Dale C J, Marshall P W 1996 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **43** 614
- [7] Wang Z J, Liu Y N, Chen W, Tang B Q, Xiao Z G, Liu M B, Huang S Y, Zhang Y 2010 *J. Tsinghua Univ. (Science and Technology)* **50** 1484 (in Chinese) [王祖军, 刘以农, 陈伟, 唐本奇, 肖志刚, 刘敏波, 黄绍艳, 张勇 2010 清华大学学报(自然科学版) **50** 1484]
- [8] Li P W, Guo Q, Ren D Y, Yu Y, Wang Y Y, Gao B 2010 *Atom. Energy Sci. Technol.* **44** 124 (in Chinese) [李鹏伟, 郭旗, 任迪远, 于跃, 王义元, 高博 2010 原子能科学技术 **44** 124]
- [9] Li P W, Guo Q, Ren D Y, Yu Y, Lan B, Li M S 2010 *Atom. Energy Sci. Technol.* **44** 603 (in Chinese) [李鹏伟, 郭旗, 任迪远, 于跃, 兰博, 李茂顺 2010 原子能科学技术 **44** 603]
- [10] Schrimpf R D, Fleetwood D M 2004 *Radiation Effects and Soft Errors in Integrated Circuits and Electronic Devices* (Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.) pp135–144
- [11] Killiany J M 1978 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **1** 353
- [12] Sun P, Du L, Chen W H, He L, Zhang X F 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 107803 (in Chinese) [孙鹏, 杜磊, 陈文豪, 何亮, 张晓芳 2012 物理学报 **61** 107803]
- [13] Chen W H, Du L, Zhuang Y Q, Bao J L, He L, Zhang T F, Zhang X 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4090 (in Chinese) [陈伟华, 杜磊, 庄奕琪, 包军林, 何亮, 张天福, 张雪 2009 物理学报 **58** 4090]
- [14] Hopkinson G R, Mohammadzadeh 2004 *Int. J. High Speed Electron. Syst.* **14** 419
- [15] Wood S 1981 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **28** 4107
- [16] Mohsen A M, Tompsett M F 1974 *IEEE Tran. Electron Dev.* **21** 701
- [17] Bi J S, Han Z S, Zhang E X, McCurdy M, Reed R A, Schrimpf R D, Fleetwood D M, Alles M L, Weller R A, Linten D, Jurczak M, Fantini A 2013 *IEEE Tran. Electron Dev.* **60** 4540
- [18] Greenlee J D, Shank J C, Compagnoni J L, Tellekamp M B, Zhang E X, Bi J S, Fleetwood D M, Alles M L, Schrimpf R D, Doolittle W A 1974 *IEEE Tran. Electron Dev.* **60** 4555

Analysis of ionizing and department damage mechanism in proton-irradiation-induced scientific charge-coupled device*

Wen Lin¹⁾²⁾ Li Yu-Dong¹⁾ Guo Qi¹⁾ Ren Di-Yuan^{1)†} Wang Bo¹⁾²⁾ Maria¹⁾²⁾

1) (Key Laboratory of Functional Materials and Devices for Special Environments of CAS; Xinjiang Key Laboratory of Electronic Information Materials and Devices; Xinjiang Technical Institute of Physics and Chemistry of CAS, Urumqi 830011, China)

2) (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

(Received 26 June 2014; revised manuscript received 25 July 2014)

Abstract

A sort of homemade buried scientific charge-coupled device (CCD) is injected by 10 MeV protons, and measurements are carried out primarily on change of dark signal, charge transfer efficiency. Results show that parameters of CCD presented significantly decrease. Post-irradiation annealing is implemented and the results reveal that CCD parameters recover to different extents. In this paper, analysed are the mechanism for the decrease of CCD parameters, and their dependences on process and structure in manufacture. The results above will provide helpful reference in characterization evaluation and technique development of future CCD.

Keywords: charge-coupled devices, proton irradiation, total ionizing dose, department damage

PACS: 42.88.+h, 85.60.Dw, 61.85.+p, 07.50.Qx

DOI: 10.7498/aps.64.024220

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11005152).

† Corresponding author. E-mail: rendy@ms.xjb.ac.cn